

УДК: 669.15.017.16 – 194: 620.183.256.43

О. В. Ефимова^{*}, А. Н. Юрченко^{}, М. А. Мариева^{***}**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, кафедра «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», г. Пермь

^{*}*olga.ef2013@yandex.ru*, ^{**}*aleksmt@gmail.ru*, ^{***}*marievamar@rambler.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук Ю. Н. Симонов

ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ СИСТЕМЫ ЛЕГИРОВАНИЯ X2Г2С2МФ МЕТОДОМ ЦВЕТНОГО ТРАВЛЕНИЯ

Исследовано применение различных травителей для выявления смешанной структуры в сталях системы легирования X2Г2С2МФ. Выбран наиболее подходящий травитель для разграничения мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. Проведен статистический анализ микротвердости после различных режимов термической обработки.

Ключевые слова: цветное травление, мартенсит, бейнит.

О. V. Efimova, A. N. Yrchenko, M. A. Marieva

DEVELOPING THE MICROSTRUCTURE OF STEELS WITH CHEMICAL COMPOSITION Cr2Mn2Si2MoV BY COLOR ETCHING METHOD

The use of various etchants for reveal a mixed structure in steels with chemical composition Cr2Mn2Si2MoV was investigated. Optimal etchant for distinguishing martensite, bainite and retained austenite was chosen. A statistical analysis of the hardness was carried out after various heat treatment modes.

Keywords: color etching, martensite, bainite.

Общепринятые методы металлографического анализа не всегда позволяют выявить в структуре стали продукты промежуточного превращения однозначно. Также не могут точно дифференцировать структурные составляющие близкого морфологического строения (например, нижний бейнит и мартенсит), что вызывает трудности при контроле микроструктуры. Поэтому актуальной задачей является разграничение структурных составляющих в сталях бейнитного класса при помощи оптического микроскопа и цветного травления.

В данной работе исследовали сталь 22X2Г2С2МФ следующего химического состава (% , масс.): 0,22 % С; 2,36 % Cr; 2,4 % Mn; 2,06 % Si; 0,39 % Mo; 0,09 % V, 0,022 % P; 0,014 % S и сталь 44X2Г2С2МФ: 0,44 % С; 2,31 % Cr; 2,19 % Mn; 2,18 % Si; 0,36 % Mo; 0,09 % V, 0,015 % P; 0,012 % S. Из прутков вышеуказанных марок сталей на электроэрозионном станке

вырезали dilatометрические образцы длиной 9,95–10,05 мм и диаметром 3–3,2 мм. Экспериментальные режимы термической обработки проводили на горизонтальном высокоскоростном индукционном закалочном dilatометре LINSEISL78 R.I.T.A. в среде чистого гелия. В первом случае нагрев образцов осуществляли с одинаковой скоростью 1,5 °C/с до температуры нагрева-аустенитизации 1000°C, время выдержки при которой составляло 15 мин, скорость охлаждения с температуры нагрева была различной: 100 °C/с; 30 °C/с; 1,5 °C/с; 0,3 °C/с; 0,05 °C/с, 0,03 °C/с. При изотермической обработке скорость нагрева, температура аустенитизации и время выдержки были аналогичны термокинетическому режиму, после выдержки при температуре нагрева образцы охлаждали со скоростью 1,5 °C/с до температуры изотермической выдержки, которую варьировали в зависимости от марки стали и температуры начала мартенситного превращения: у стали 22Х2Г2С2МФ – 375 °C, 350 °C, 325 °C, 300 °C, 275 °C; у стали 44Х2Г2С2МФ – 325 °C, 300 °C, 275 °C, 250 °C, 200 °C. Время выдержки 360 мин при каждой температуре выдержки. Дальнейшее охлаждение проводили со скоростью 1,5 °C/с до комнатной температуры. Микрошлифы изготавливали с использованием заливочного комплекса CitoPress-10 и полировального комплекса Tegramin-30. Металлографический анализ сталей проводился на микроскопе Olympus GX-51 при увеличениях x200–x1000. Травление проводили с использованием травителей, которые рассмотрены в работе [1] и показаны в таблице ниже.

Название и состав травителей

Название		Состав
Травитель № 1	Пикрал	4 г пикриновой кислоты (тринитрофенол, $(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$), 100 мл чистого этанола.
Травитель № 2	Kalling	33 мл дистиллированной воды, 33 мл 99 %-го этанола, 33 мл 32 %-ой соляной кислоты, 1,5 г CuCl_2 .
Травитель № 3	LePera	50 мл 1 %-ого водного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 50 мл 4 %-ой пикриновой кислоты в спирте.
Травитель № 4	10 %-ый водный раствор метабисульфита	10 г метабисульфита натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), 100 мл воды.

Измерение микротвердости проводили с использованием микротвердомера ПМТ-3 при нагрузках 50 и 100 г (ГОСТ 9450–76). В рамках количественного анализа с помощью программного пакета SIAMS

700 проводился расчет количества перлита, остаточного аустенита и бейнита.

В ходе отработки режимов цветного травления на изотермических и термокинетических образцах было отмечено, что при нанесении на поверхность шлифа вышеупомянутых травителей цветовая гамма микроструктуры была различной. Выявлено, что травители № 1 и № 2 взаимозаменяемы, так как с их помощью удалось визуализировать общую структуру стали на всех образцах (рис. 1, а, б). Травителем № 3 однозначно удалось разграничить мартенсит и бейнит на образцах после изотермической выдержки выше температуры начала мартенситного превращения (рис. 1, в). На рис. 1, в видно, что в промежутках между крупными бейнитными иглами, которые окрасились в синий цвет, находится мартенсит и остаточный аустенит. Таким образом, при использовании травителя № 3 бейнит, в зависимости от времени выдержки, окрашивается в цветовую гамму: от коричневого до синего, мартенсит имеет коричневато-рыжий оттенок, феррит голубой, остаточный аустенит остается белым. Травитель № 4 позволил вытравить структуру стали, окрашивая α -фазу бейнита и мартенсита в синий цвет, но, чтобы безошибочно определить долю остаточного аустенита необходимо было перетравливать структуру. Мартенсит и бейнит полностью окрашивался в темно синие тона, аустенит остаточный оставался белым. Применение такого метода травления позволило количественно оценить долю остаточного аустенита, максимальное значение которого для исследуемых сталей достигло 5 %.

При травлении термокинетических образцов ни одним из травителей не удалось выполнить задачу разграничения мартенсита и бейнита. Можно лишь отметить, что с понижением скорости охлаждения характер структуры изменялся. При самых высоких скоростях, где предполагается образование структуры мартенсита, травление образца происходит медленнее, чем при низких скоростях охлаждения. Этот факт может говорить о том, что в микроструктуре стали с уменьшением скорости непрерывного охлаждения количество бейнита увеличивается.

В ходе дюрOMETрического анализа для термокинетических образцов, для обеих сталей и при обеих нагрузках, наблюдалась тенденция к росту общей микротвердости с увеличением скорости непрерывного охлаждения. Также можно отметить, что при каждой скорости охлаждения есть существенный разброс, который, по-видимому, связан с наличием различных структурных составляющих. В изотермических условиях при увеличении температуры выдержки в стали 22Х2Г2С2МФ наблюдается увеличение общего уровня микротвердости, а в стали 44Х2Г2С2МФ видна обратная зависимость при обеих нагрузках (рис. 2).

Повышение микротвердости в стали 22Х2Г2С2МФ связано с тем, что при самой высокой температуре изотермической выдержки в стали

присутствует большее количество мартенсита охлаждения, чем при самой маленькой температуре, где количество мартенсита охлаждения уменьшается, а количество бейнита увеличивается. Уменьшение микротвердости в стали 44X2Г2С2МФ связано с изменением морфологии бейнита и по мере увеличения температуры изотермической выдержки толщина бейнитных игл становится больше.

На рис. 3 показаны отпечатки микротвердости после изотермической заковки при температуре изотермической выдержки $T_{изо} = 275\text{ }^{\circ}\text{C}$ для стали 44X2Г2С2МФ. Твердость темной бейнитной области равна 409 HV, а твердость предполагаемого мартенсита – 633 HV.

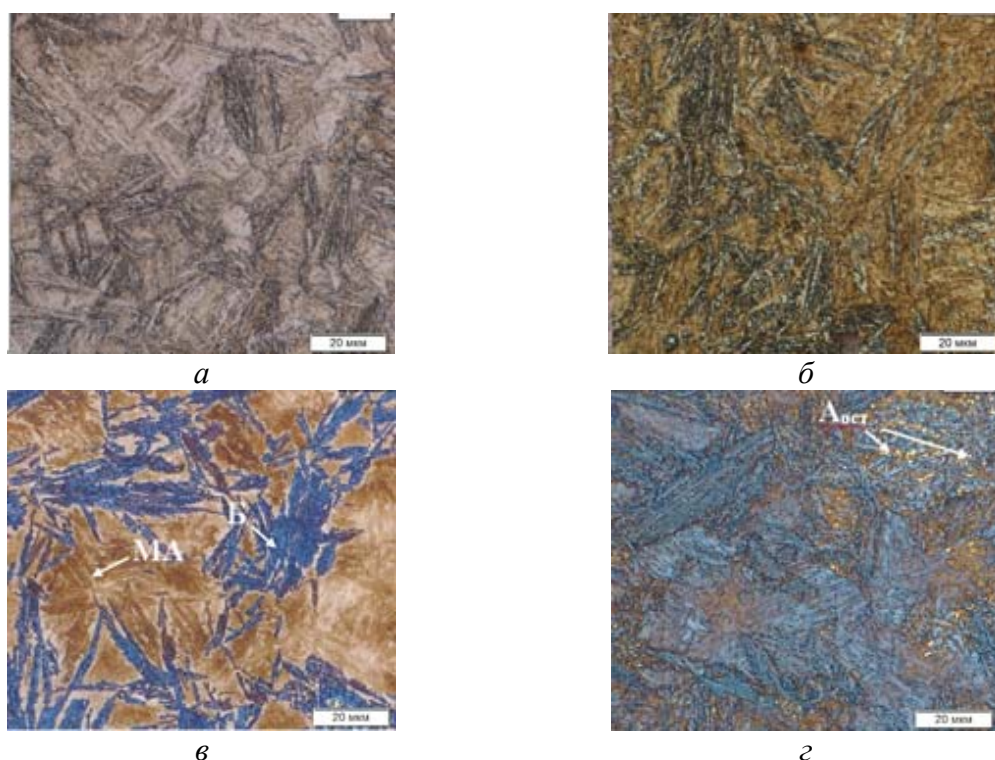


Рис. 1. Микроструктура стали 22X2Г2С2МФ после изотермической заковки с температурой изотермической выдержки $375\text{ }^{\circ}\text{C}$: *а* – травитель № 1; *б* – травитель № 2; *в* – травитель № 3; *г* – травитель № 4; $\times 1000$

Таким образом, для выявления (разграничения) структурных составляющих в сталях бейнитного класса на оптическом микроскопе рекомендуется использовать травитель LePera, который в большинстве случаев позволяет вытравить как бейнитную, так и мартенситную составляющие. Однако, для наиболее четкого выделения остаточного аустенита из общей микроструктуры стали рекомендуется применять травитель № 4, компоненты которого содержатся в реактиве LePera.

Статистический анализ микротвердости на нетравленных микрошлифах при двух нагрузках позволил показать, что есть разброс

значений микротвердости после всех режимов термической обработки, что связано с наличием различных фазовых составляющих.

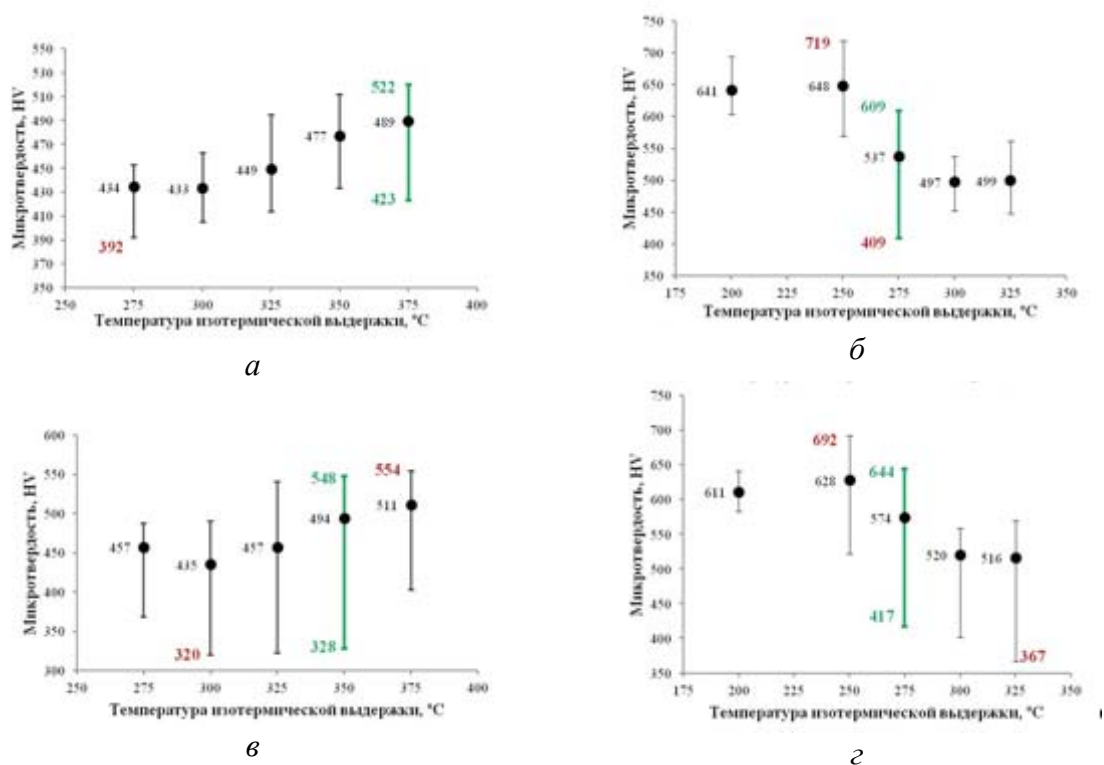


Рис. 2. Изменение микротвердости в сталях 22Х2Г2С2МФ (а, б) и 44Х2Г2С2МФ (в, г) в зависимости от температуры изотермической выдержки: а, в – нагрузка 100 грамм; б, г – нагрузка 50 грамм

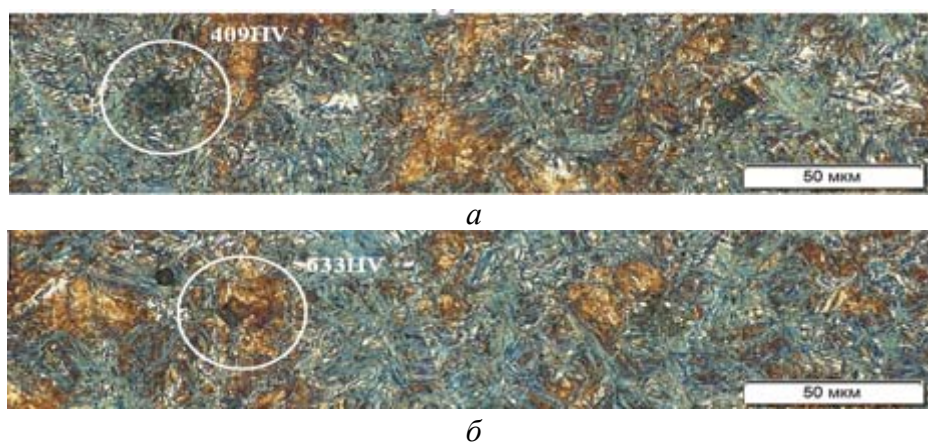


Рис. 3. Микроструктура и отпечатки микротвердости стали 44Х2Г2С2МФ после изотермической выдержки: а – нагрузка 100 грамм, $T_{\text{изо}} = 275\text{ }^{\circ}\text{C}$; б – нагрузка 50 грамм, $T_{\text{изо}} = 275\text{ }^{\circ}\text{C}$

ЛИТЕРАТУРА

1. George F. Vander Voort. Etching isothermally treated steels // Heat Treating Progress. 2001.